

# نیروگاه‌های حرارتی بخار

آشنایی با ساختار، تجهیزات و راندمان



اگر نفرت های شما به برق تبدیل شوند،  
همه دنیا روشن خواهد شد.

– نیکولا تسلا



# فهرست مطالب

01

## مشخصات و نحوه عملکرد

مروری سریع بر اصول کاری نیروگاه  
بخار و مراحل تبدیل انرژی.

02

## آشنایی با اجزا نیروگاه

شناخت اجزای کلیدی مکانیکی و  
الکتریکی نیروگاه بخار.

03

## راندمان و بازدهی

تحلیل عوامل تأثیرگذار بر بازده و  
تلفات انرژی حرارتی.

04

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

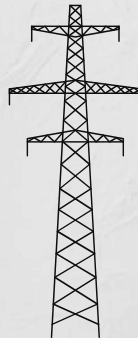
بررسی خلاصه یافته‌ها و نکات مهم  
برای مطالعات آینده.



# مقدمه

نیروگاه‌های توربین بخار (Steam Turbine)، منبع بزرگی برای تولید برق کشور به شمار می‌روند و معمولاً بر اساس چرخه «رانکین» کار می‌کنند. در یک نیروگاه بخار از انرژی شیمیایی ذخیره شده در سوخت‌های فسیلی نظیر زغال سنگ، نفت کوره، گاز طبیعی یا mazut برای به جوش آوردن آب داخل دیگ بخار (boiler) استفاده شده و بخار آب با فشار و دمای بالا (Superheat steam) وارد توربین شده و توربین را به حرکت در می‌آورد و سپس به وسیله توربین‌ها به انرژی مکانیکی تبدیل شده و در نهایت انرژی مکانیکی توسط ژنراتورهای الکتریکی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. بخار خروجی از توربین باید به نحوی وارد سیکل نیروگاه شود که از آنجایی که امکان پمپ نمودن بخار وجود ندارد، ابتدا در سیستم خنک‌کننده تبدیل به مایع شود و توسط پمپ آب مجدد وارد سیکل نیروگاه شود.

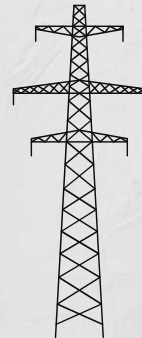
نیروگاه بخار یکی از مهمترین نیروگاه‌های حرارتی می‌باشد که سهم عمده‌ای در تولید انرژی الکتریکی در جهان دارد. در ایران نیز، در سال 97 حدود 16000 مگاوات ظرفیت نصب شده بخاری داریم و سهم تولید انرژی این نیروگاه در این سال حدود 28 درصد بوده است.



# مقدمه

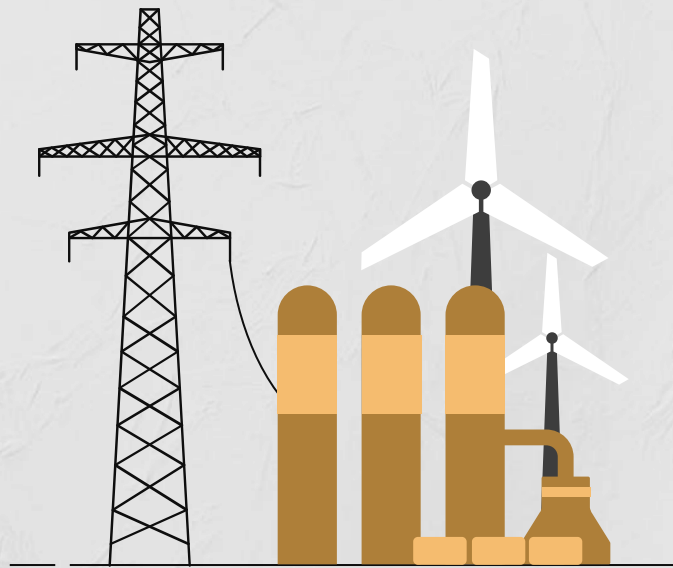
برخی از نیروگاه های بخار مهم ایران: شهید سلیمی نکا، شهید رجائی قزوین، شهید منتظری اصفهان، اسلام آباد اصفهان، رامین اهواز، منتظر قائم کرج، تبریز، بیستون کرمانشاه، بندرعباس و ... .

نیروگاه بخاری طبس اولین نیروگاه با سوخت زغال سنگ در ایران است و قرار است به زودی با دو واحد بخار 325 مگاواتی وارد مدار شود که با مشارکت شرکت های روسی (تکنوپروم اکسپورت)، چینی (شانگهای الکتریک) و مپنا ساخته می شود و سوخت اصلی آن زغال سنگ است و سالانه 4 میلیون تن مصرف خواهد داشت.

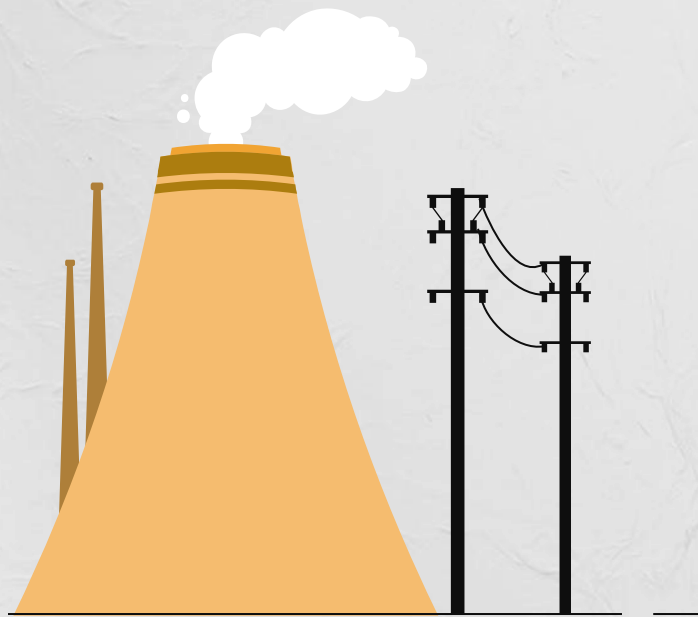


01

# مشخصات و نحوه عملکرد



# نیروگاه بخار چگونه کار میکند؟



در این نیروگاه سه نوع تبدیل انرژی صورت می‌گیرد. ابتدا، انرژی شیمیایی سوخت در دیگ بخار به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود و آب ورودی به بخار با دمای زیاد تبدیل می‌شود. سپس، انرژی حرارتی بخار ورودی به توربین در توربین به انرژی مکانیکی چرخشی محور تبدیل می‌شود. در نهایت، انرژی مکانیکی روتور در ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

# تولید انرژی الکتریکی

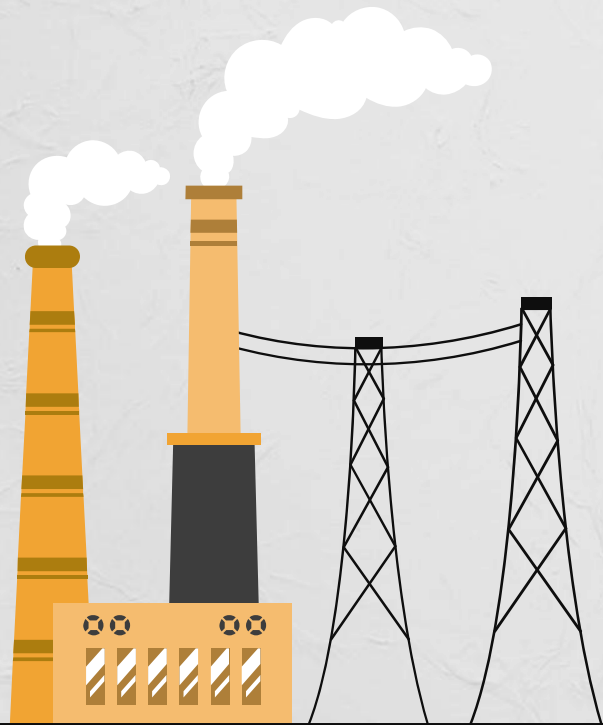




در این نوع نیروگاه سوخت به وسیله مشعل های خاصی، به محفظه ای بنام کوره، پاشیده گردیده و با اشتعال آن در مجاورت هوا که به وسیله فن های بزرگی تامین می شود، حرارت قابل توجهی تولید میکند. حرارت حاصله، آب را که با پمپ از داخل لوله های تعبیه شده در این محفظه عبور می دهد و پس از چند مرحله، بخاری با درجه حرارت بالا و فشار زیاد که در اصطلاح به آن بخار خشک می گویند، بدست می آید. بخار خشک حاصله پس از خروج از کوره وارد توربین شده و آن را به حرکت در می آورد و ژنراتور را که با توربین هم محور و کوپله (STG) است به همراه آن به گردش در آورده و جریان الکتریکی تولید می شود. بخار ورودی به توربین با از دست دادن بخش عمده ای از حرارت و فشار خود وارد محوطه ای بنام کندانسور (condenser) شده و این بخار به لحاظ تماس با سطح سرد، تقطیر شده و به مایع تبدیل می گردد و مجدد از هیتر های متعددی عبور داده شده و گرم می شود و در نهایت توسط پمپ مجدد به درون کوره هدایت و سیکل خود را دوباره طی می کند. در نهایت آب خنک کن، آبی که جهت ایجاد سطوح سرد در کندانسور بکار می رود (که خود ضمن سرد کردن بخار خروجی از توربین، گرم شده است) را به برج خنک کن هدایت کرده و پس از خنک شدن دوباره به مدار خود باز می گرداند.



# آیا میدانید؟



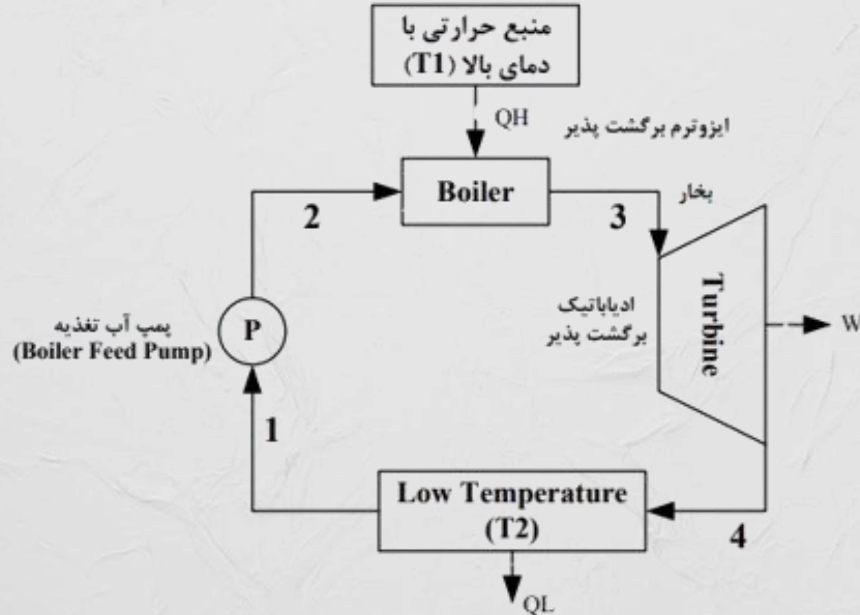
بزرگ‌ترین نیروگاه‌های بخار فعال ایران نیروگاه نکا و نیروگاه رامین  
اهواز با ظرفیت 1900 مگاوات است.

# سیکل ترمودینامیکی نیروگاه بخار



# سیکل ایده آل کارنو (Carnot Cycle)

سیکل کارنو یک مدل کاملاً ایده‌آل و نظری از تبدیل گرما به کار است و بازده آن فقط به دمای منبع گرم (TH) و دمای منبع سرد (TC) بستگی دارد، نه نوع سیال یا جزئیات مکانیکی سیستم.



# مراحل سیکل کارنو

1. فرآیند دما ثابت (Isotherm) برگشت پذیر که گرما از یک منبع با دمای بالا به سیال منتقل می شود.
2. فرآیند آدیاباتیکی (Adiabatic) برگشت پذیر انبساطی مانند انجام کار در توربین.
3. فرآیند دما ثابت برگشت پذیر تراکمی در دمای پایین مانند کاری که در کندانسور انجام می شود.
4. فرآیند آدیاباتیکی برگشت پذیر تراکمی: سیال بدون تبادل حرارت فشرده می شود و دما بالا می رود.



# چرا سیکل کارنو عملی نیست؟

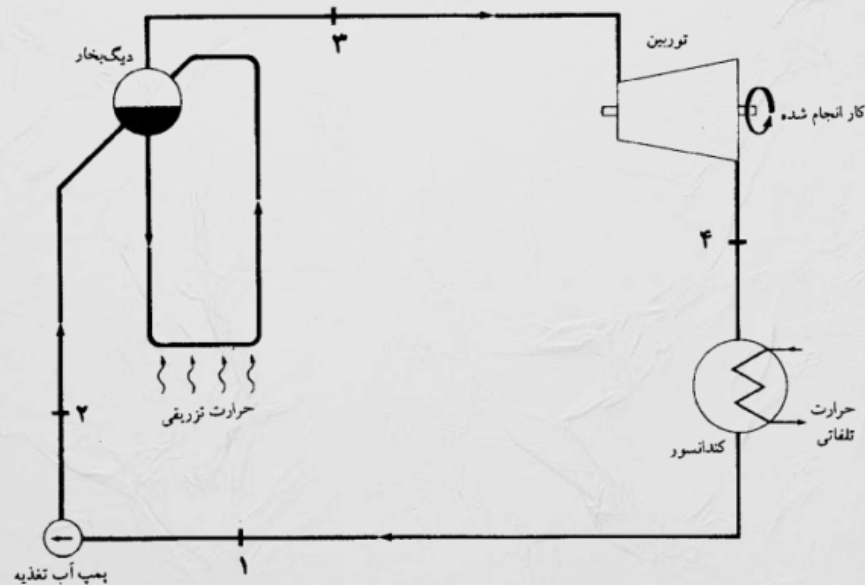
سیکل کارنو برای سیال بخار آب به دلیل زیر قابل استفاده نمی‌باشد:

1. کنترل کیفیت ورود سیال به پمپ تغذیه بویلر بسیار مشکل و هزینه بر است.
2. تراکم یک ماده در حالت دو فاز با شرط آنتروپی ثابت مشکل است و برای فاز بخار امکان پذیر نیست.
3. امکان انتقال حرارت در دیگ بخار تحت یک تحول دما ثابت وجود ندارد و همواره انتقال حرارت فرآیندی برگشت ناپذیر تلقی می‌گردد.



# سیکل رانکین (Rankine Cycle)

سیکل رانکین در واقع نسخه عملی سیکل کارنو برای کار با بخار آب است و در نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه بخار و حتی نیروگاه هسته‌ای استفاده می‌شود.



# مراحل سیکل رانکین

1. تراکم (پمپ): آب مایع با فشار پایین، توسط پمپ به فشار بالا می‌رسد.
2. گرمایش در دیگ بخار: آب فشار بالا حرارت می‌گیرد و به بخار اشباع تبدیل می‌شود.
3. انبساط در توربین: بخار منبسط می‌شود، کار مکانیکی تولید می‌کند.
4. تقطیر در کندانسور: بخار مرطوب در فشار پایین چگالیده و به آب مایع اشباع تبدیل می‌شود.





# راه‌های افزایش بازده رانکین

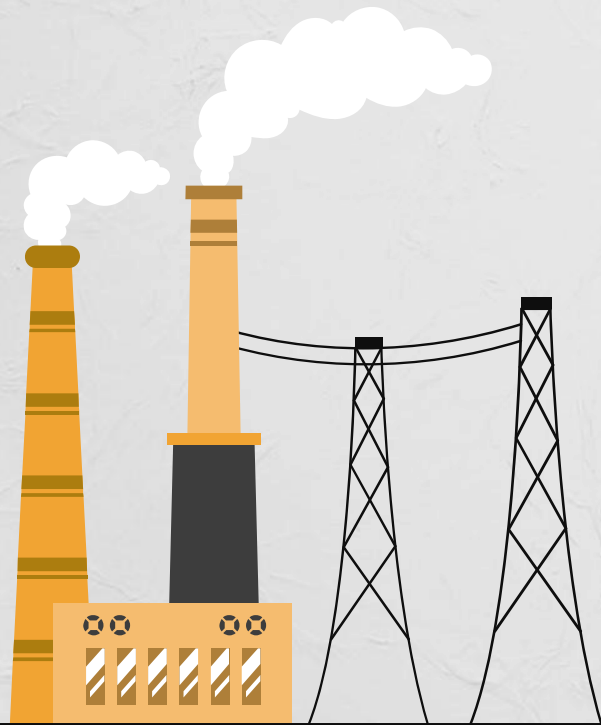
بازده سیکل رانکین بین دو دمای حداقل و حداکثر، کمتر از بازده کارنو است زیرا دمای متوسط در دیگ بخار سیکل رانکین کمتر از دمای سیال در دیگ بخار سیکل کارنو است.

جهت افزایش بازده و کاهش قطرات آب در بخار خروجی می‌توان تمهیدات زیر را بکار برد:

1. افزایش دمای بخار ورودی به توربین به وسیله فوق گرم‌کن (Superheater)
2. افزایش فشار سیال ورودی به توربین
3. کاهش فشار سیال خروجی از توربین
4. استفاده از بازگرم‌کن (Re-heater)
5. استفاده از پیشگرم‌کن (Pre-heater)



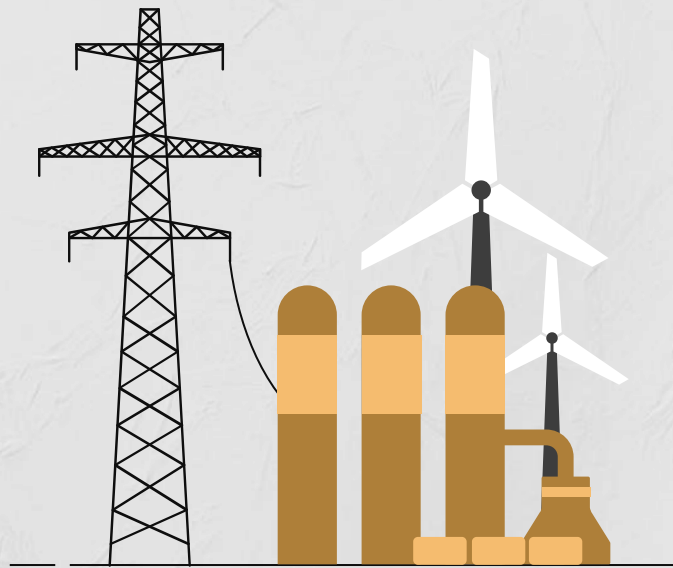
# آیا میدانید؟



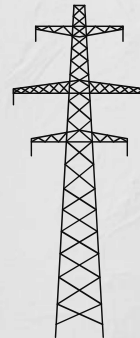
هزینه احداث نیروگاه بخار بسته به تجهیزات جانبی آن و محل نصب و غیره از 1800 دلار در هر کیلووات تا مقادیر بالاتر متغیر بوده و هزینه بهره‌برداری و تعمیرات آن در حدود 2 درصد هزینه احداث نیروگاه در هر سال است.

02

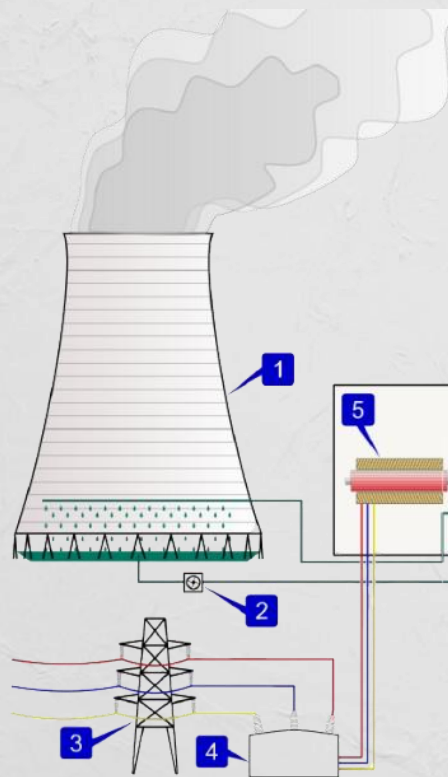
## آشنایی با اجزا نیروگاه



# اجزا نیروگاه بخار



# اجزا نیروگاه بخار



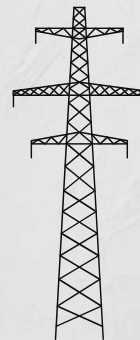
1. برج خنک کننده

2. پمپ آب سرد

3. خطوط انتقال سه فاز

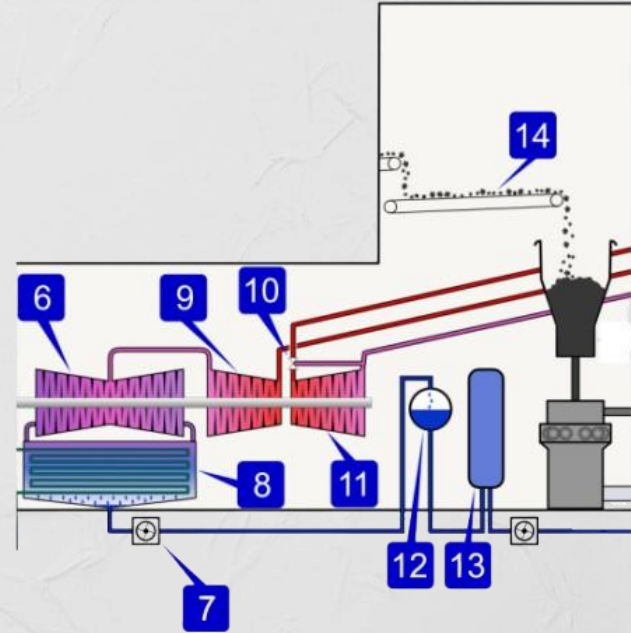
4. ترانسفورماتور افزایش ولتاژ

5. ژنراتور الکتریکی

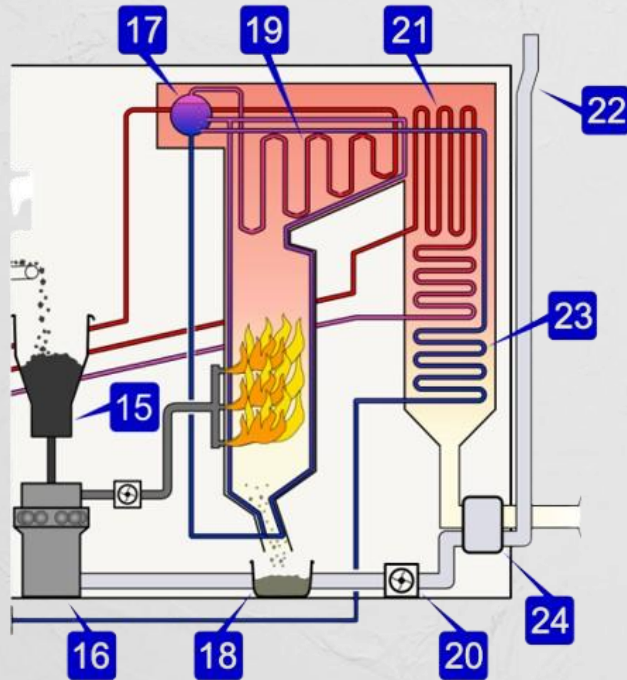


# اجزا نیروگاه بخار

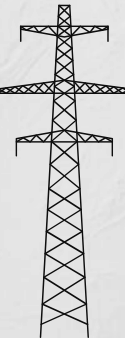
- 6. توربین بخار فشار ضعیف
- 7. پمپ آب بویلر
- 8. تقطیرکننده سطحی (کندانسور)
- 9. توربین بخار فشار متوسط
- 10. دریچه کنترل بخار (گاورنر)
- 11. توربین بخار فشار بالا
- 12. هوازدا (دی‌آریتور)
- 13. گرم‌کننده آب (هیتر)
- 14. سوخت ورودی



# اجزا نیروگاه بخار



- 15. ورودی سوخت
- 16. آسیاب زغال سنگ/فیلتر سوخت
- 17. سیلندر دود بویلر (درام بویلر)
- 18. جمع کننده خاکستر زغال سنگ
- 19. سوپرهیتر
- 20. پمپ هوا
- 21. پس گرم کن (ری هیتر)
- 22. سوپاپ هوای احتراق
- 23. پیش گرم کن مقدماتی (اکونومایزر)
- 24. پیش گرم کن هوا



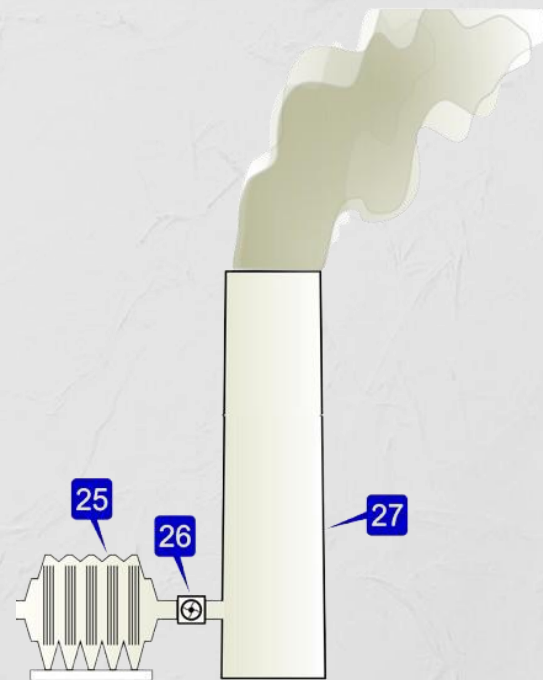


# اجزا نیروگاه بخار

25. ته نشین کننده الکترواستاتیکی

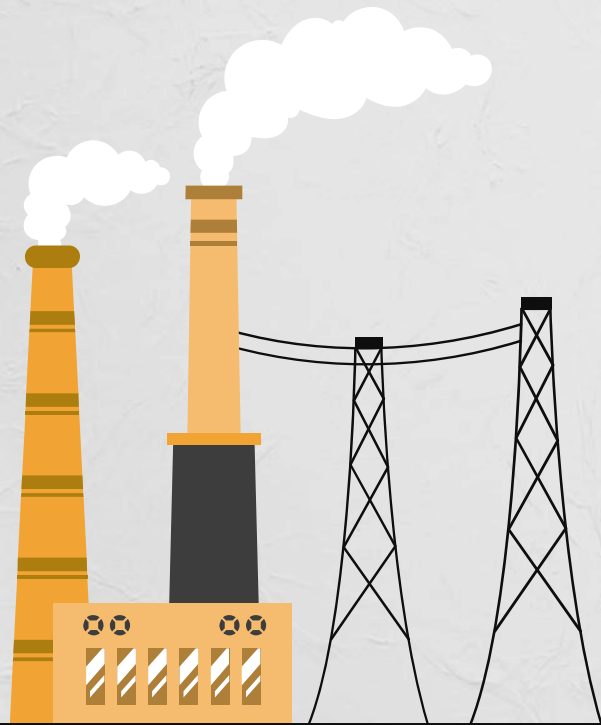
26. پمپ هوا

27. دودکش



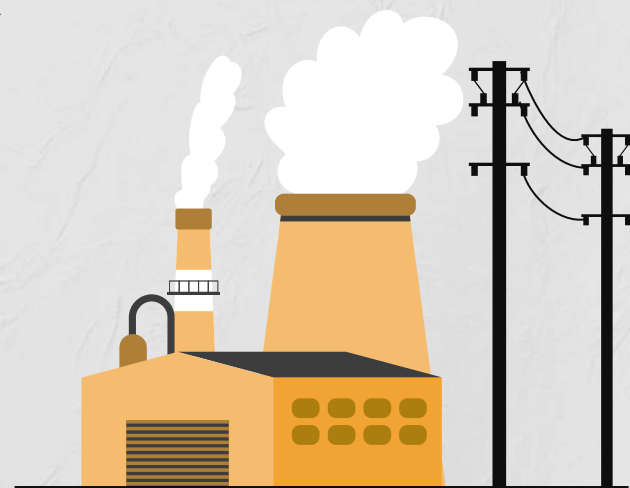


# آیا میدانید؟

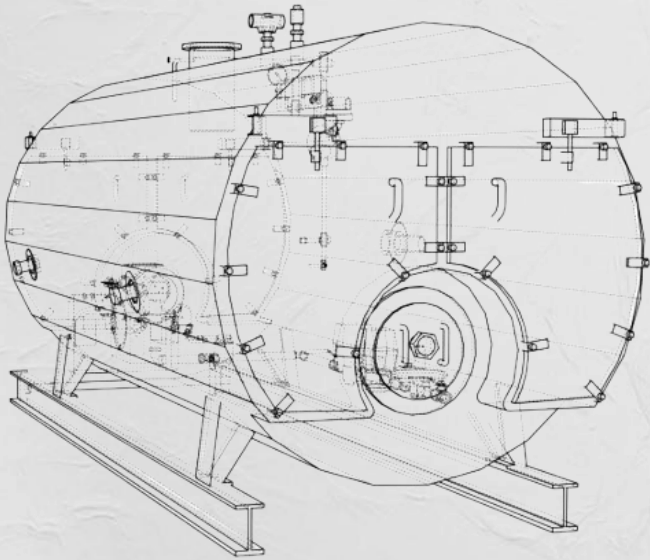


نیروگاه‌های بخاری زغال سوز مقرون به صرفه ترین نیروگاه‌های با  
سوخت فسیلی در دنیا می‌باشند.

# تجهيزات مکانیکی



# مولد بخار (Steam Generator)



بخار در دستگاهی به نام مولد بخار تولید می‌گردد. انرژی شیمیایی سوخت ورودی به مولد بخار، حین سوزاندن سوخت آزاد و تبدیل به انرژی گرمایی شده و آب موجود در مولد بخار آن را جذب و تبدیل به بخار می‌گردد.

از اینرو چون در داخل مولد بخار فرایند جوشش (boiling) رخ میدهد، مولد بخار را عموماً بویلر نامیده که واژه معادل آن دیگ بخار می باشد.

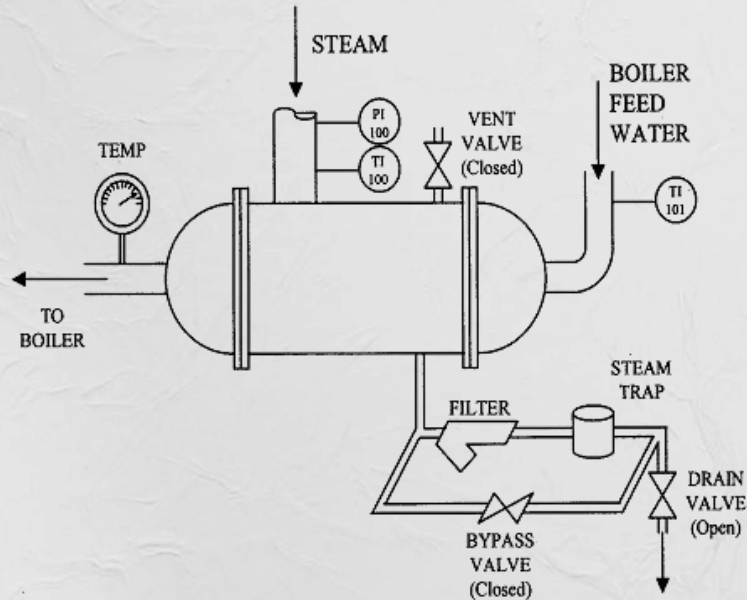
# جایگاه بویلر در سیکل نیروگاه

سوخت و هوای لازم برای عملیات احتراق سوخت به بویلر وارد و بخار خروجی آن پس از کسب شرایط لازم برای چرخاندن محور توربین بخار هم‌محور با مولد برق یا ژنراتور به سمت پره های توربین هدایت می‌شوند. بویلر در سیکل آب و بخار قبل از توربین بخار و بعد از پمپی قرار دارد که آب لازم را به بویلر تغذیه میکند و به همین دلیل آن را (Boiler Feed Water Pump) یا به اختصار BFP یا BWP می‌نامند.

بخار مقدار زیادی از انرژی خود را در توربین مصرف میکند و پس از انجام کار در توربین به کندانسور میرود و انرژی باقی مانده خود را به خنک‌کننده می‌دهد تا به صورت مایع درآید و دوباره به عنوان تغذیه به وسیله BFP به بویلر باز می‌گردد تا سیکل نیروگاه که همان سیکل رانکین می‌باشد نیز تکمیل می‌گردد.



# سیستم (Feed Water)



وظیفه اصلی سیستم تغذیه آب جمع آوری، گرم کردن، تصفیه و فشرده سازی آب چگالیده (Condensate) و در نهایت تغذیه آن به درام بویلر (Boiler Drum) یا مستقیماً به اکونومایزر (Economizer) می‌باشد.

# اجزای اصلی سیستم (Feed Water)

1. Condensate System : آب بخار خروجی از توربین در کندانسور سرد شده و به مایع تبدیل می‌شود.

پمپ های کندنسیت این آب را از کندانسور به مسیر بعدی (معمولا Deaerator) ارسال می‌کنند.

2. Low Pressure Heaters(LP Heaters) : آب تغذیه قبل از ورود به Deaerator توسط چند مبدل

حرارتی فشار پایین گرم می‌شود. گرمای این مبدل ها معمولا از بخار برداشته شده از مراحل اولیه توربین تامین میشود (Extraction Steam).

3. Deaerator : این بخش برای حذف گازهای محلول مثل اکسیژن و دی اکسید کربن از آب است چون

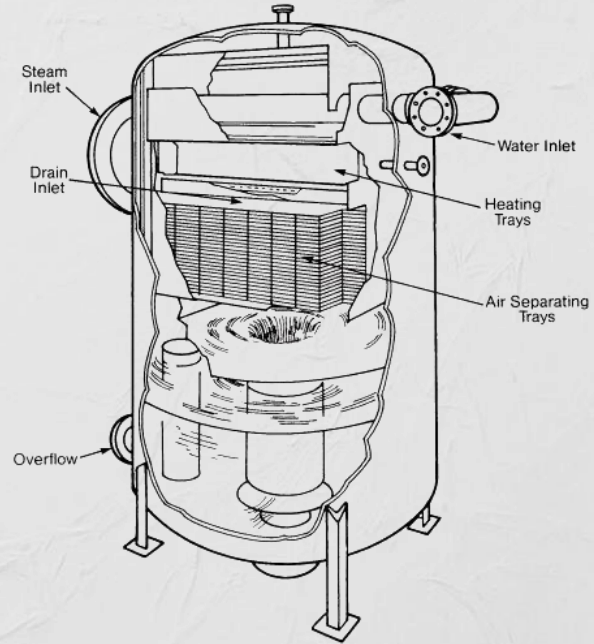
این گاز ها باعث خوردگی در خطوط و بویلر می شوند. در Deaerator آب با بخار رابطه مستقیم دارد و

حدودا تا دمای اشباع گرم میشود ( معمولا حدود 105 تا 120 درجه سانتیگراد).



# هوازدا (Deaerator)

مخزنی که با استفاده از بخار، گازهای محلول به ویژه اکسیژن و دی‌اکسیدکربن را از آب تغذیه حذف می‌کند تا از خوردگی در بویلر و لوله‌ها جلوگیری شود.





# اجزای اصلی سیستم (Feed Water)

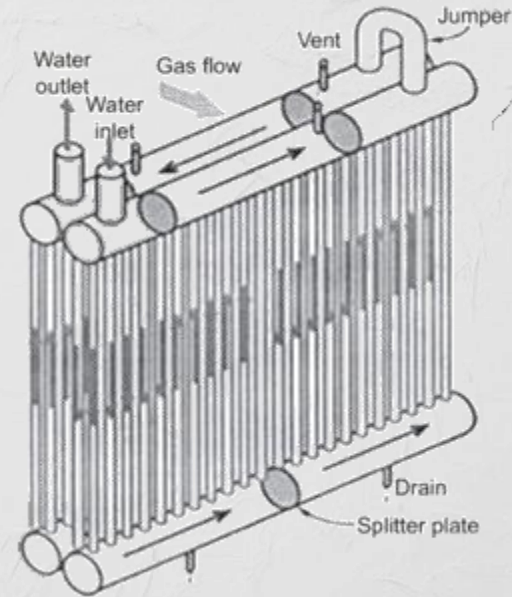
4. Feed Water Storage Tank : معمولا روی یک مخزن بزرگ نصب میشود که Deaerator به عنوان ذخیره موقت تغذیه آب استفاده میشود از این مخزن، آب به پمپ های تغذیه میرسد.
5. Boiler Feed Water Pump : این پمپ ها در دو نوع Motor driven و Turbine driven استفاده می شوند و آب را با فشار بالا ( گاهی تا ده ها بار ، بسته به فشار بویلر) به سمت بویلر پمپاژ میکند.
6. High Pressure Heaters : پس از عبور از پمپ آب وارد مبدل های حرارتی فشار بالا میشود تا قبل از ورود به بویلر باز هم گرم شود این کار باعث افزایش راندمان ترمودینامیکی نیروگاه میشود.
7. Economizer : آخرین مرحله پیش از بویلر است. در اکونومایزر آب توسط گاز های داغ خروجی از کوره تا نزدیکی دمای اشباع گرم شده و سپس وارد درام بویلر می شود.



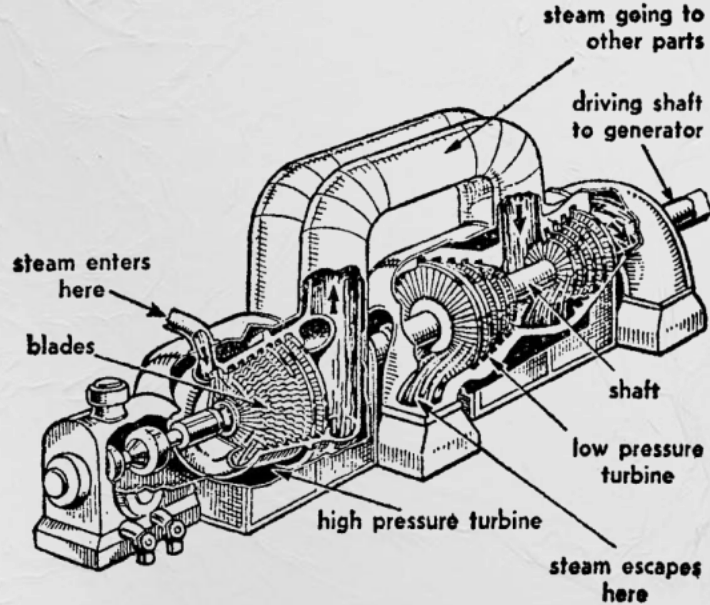


# اکونومايزر (Economizer)

دستگاهی که آب ورودی به دیگ بخار را با استفاده از حرارت گازهای خروجی پیش گرم می کند تا مصرف سوخت کاهش یابد و راندمان افزایش پیدا کند.



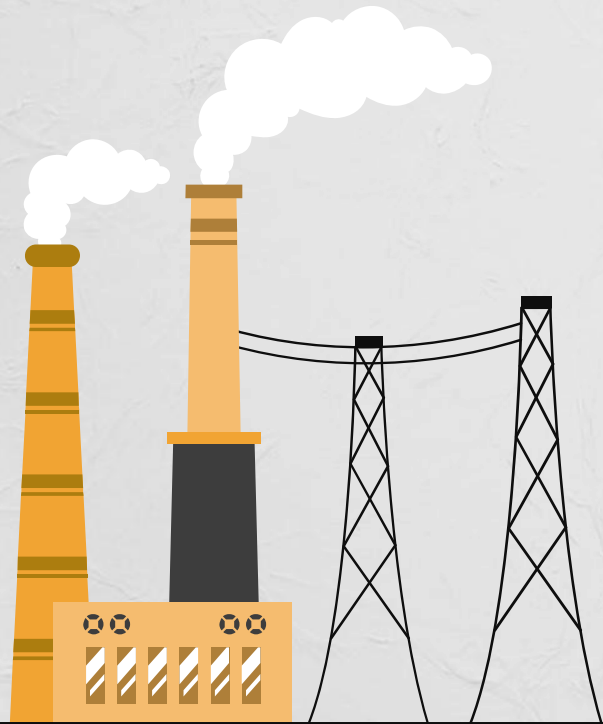
# توربین بخار (Steam Turbine)



مجموعه ای از زنجیره نازل‌های نصب شده در قفسه نازل‌ها (Nozzel chest) یا به عبارتی دیافراگم‌ها و یک زنجیره پره متحرک نصب شده روی روتور، یک طبقه (Stage) توربین نامیده می‌شود.

توربین‌ها از دیدگاه نحوه عملکرد بخار بر دو دسته واکنشی (Reaction) و ضربه ای (Impulse) تقسیم می‌شود.

# آیا میدانید؟



وقتی توربین خاموش می‌شود، نباید بلافاصله متوقف شود زیرا دمای بالای آن می‌تواند باعث تغییر شکل آن شود. به همین دلیل، توربین به آرامی توسط یک موتور و چرخ دنده با سرعتی حدود سه دور در دقیقه چرخانده می‌شود تا حرارت آن به طور یکنواخت خارج شود و از آسیب دیدگی جلوگیری گردد. این فرآیند "Turning Gear" نامیده می‌شود.

# انواع توربین های بخار

توربین های بخار با توجه به فرآیند حرارتی در مسیر بخار (Steam Path) به چهار گروه تقسیم میشوند:

1. توربین بخار تقطیری (Condensing): در این توربین ها کل بخار به غیر از زیرکش های مخصوص

بازیاب از مسیر بخار عبور کرده و تا فشار کمتر از اتمسفر منبسط و سپس وارد کندانسور می شود و در آنجا گرمای خود را به آب خنک پس داده و بنابراین بی هیچ استفاده ای هدر می رود.

2. توربین فشار معکوس (Back-Pressure): در این توربین بخار خروجی (تلف شده) از توربین، به

مصرف کنند های حرارتی به عنوان بخار فرآیند تحویل داده میشوند تا از گرمای آن استفاده گردد.



# انواع توربین های بخار

3. توربین تقطیری با زیرکش اتوماتیک (Automatic Extraction Condensing): در این توربین ها بخشی از بخار یکی از مراحل میانی توربین زیرکش و در فشاری که به طور اتوماتیک ثابت نگه داشته می شود برا مصارف حرارتی به کار رفته و باقی مانده بخار در مراحل بعد به حرکت خود ادامه می دهد و نهایتا به داخل کندانسور تخلیه می گردد.

4. توربین فشار معکوس با زیرکش اتوماتیک (Automatic Extraction Back-Pressure): در این نوع توربین بخشی از بخار در یک فشار ثابت از یکی از مراحل میانی زیرکش شده و مابقی آن پس از عبور از مراحل بعدی در فشاری پایین تر برای مصارف حرارتی تحویل داده می شود.



# شرکت های دارای تکنولوژی ساخت و طراحی توربین بخار



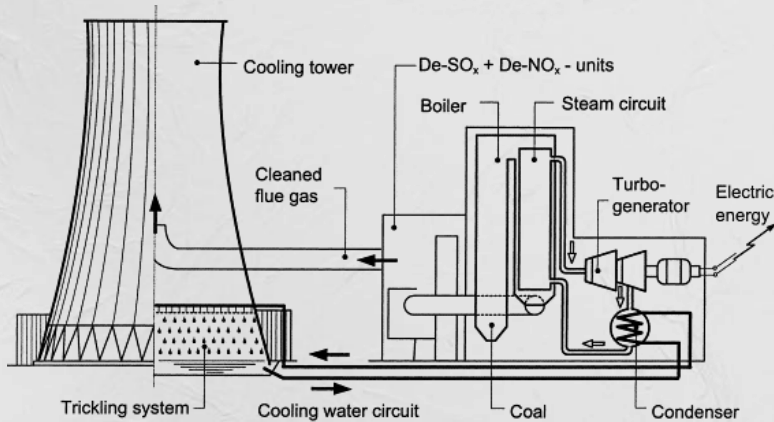
❖ زیمنس آلمان

❖ جنرال الکتریک آمریکا

❖ هیتاچی و میتسوبیشی ژاپن

❖ توگا (مپنا) ایران

# سیستم خنک کننده نیروگاه (System Cooling)



سیستم خنک کننده یکی از اجزای اصلی نیروگاه می باشد که عملکرد آن به طور مستقیم روی راندمان کل تاثیر می گذارد و با توجه به شرایط محل ساخت نیروگاه مانند محدودیت های زیست محیطی، میزان دسترسی به آب خنک کن و پارامترهایی مانند وزش باد، دمای محیط و رطوبت، نوع سیستم خنک کننده انتخاب و طراحی می گردد.



# معیار ها و محدودیت های انتخاب نوع سیستم خنک کننده

معمولا نیروگاه ها در محلی ساخته می شوند که امکان دسترسی به منابع بزرگ آب وجود داشته باشد، مگر اینکه عواملی مانند دسترسی به سوخت و نیاز شبکه برای تولید برق در نقطه خاصی، ایجاب کند نیروگاه در محلی احداث گردد که منابع آبی زیادی وجود نداشته باشد.

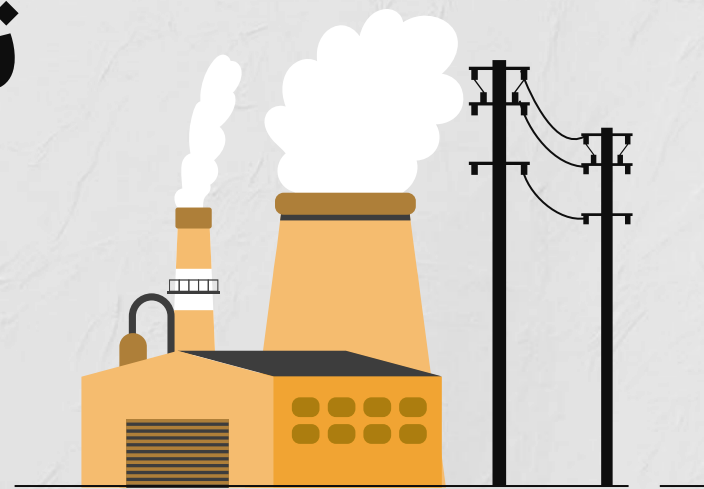
نوع سیستم، باید در مراحل اولیه طرح نیروگاه مورد بررسی قرار گیرد و به عوامل زیر وابسته است:

- قابلیت دسترسی و کیفیت آب
- دفع آب فاضلاب سیستم خنک کن
- آرایش تاسیسات در وضعیت سایت نیروگاه (Site Configuration)

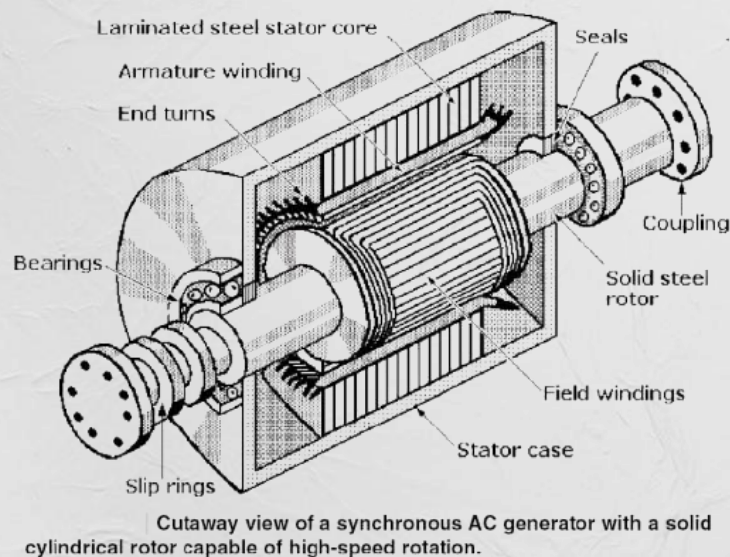




# تجهيزات الكتریکی



# ژنراتور سنکرون (Synchronous Generator)



ژنراتور سنکرون یا آلترناتور دستگاهی سه فاز است که در نیروگاه‌ها برای تبدیل انرژی مکانیکی توربین به انرژی الکتریکی AC استفاده می‌شود. در این ژنراتور، سرعت چرخش روتور با فرکانس خروجی (50 یا 60 هرتز) هم‌زمان است. ولتاژ خروجی آن معمولاً بین 11 تا 25 کیلوولت بوده و با هوا یا هیدروژن خنک می‌شود. به دلیل راندمان بالای بیش از 98% و کیفیت توان مناسب، این نوع ژنراتور به‌طور گسترده در تولید برق صنعتی و نیروگاهی به‌کار می‌رود.

# ژنراتور سنکرون (Synchronous Generator)

اجزا:

1. استاتور: شامل سیم‌پیچ‌های سه فاز که ولتاژ القا می‌شود.
2. روتور: دارای سیم‌پیچ تحریک DC برای ایجاد میدان مغناطیسی.
3. سیستم خنک‌کننده: معمولاً گازی یا آبی برای دفع حرارت.

عملکرد:

ولتاژ خروجی تابع جریان تحریک و سرعت چرخش روتور است.  
این سیستم وظیفه دارد جریان مستقیم لازم را برای سیم‌پیچ روتور فراهم کند.



# سیستم تحریک ژنراتور (Excitation System)

انواع:

سیستم تحریک استاتیکی: شامل رکتیفایرهای دیودی یا تریستوری که از برق ژنراتور تغذیه می‌شوند.

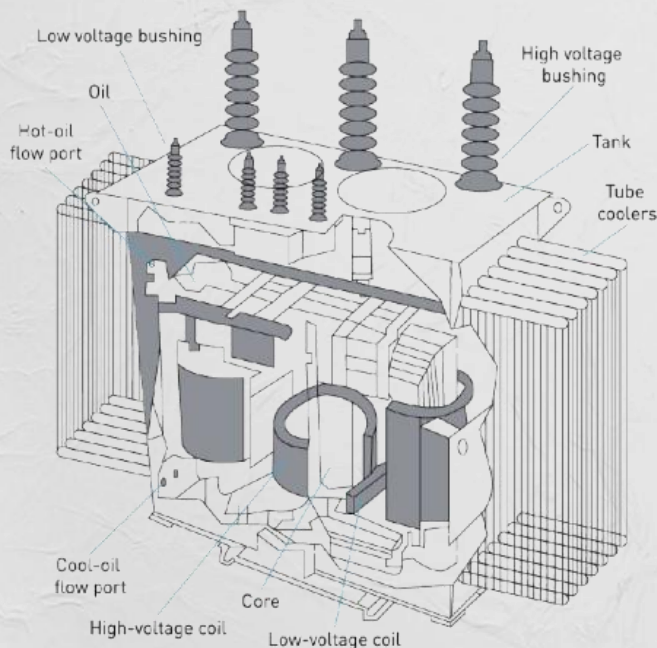
سیستم تحریک بدون جاروبک (Brushless): شامل یک ژنراتور کمکی AC و یک رکتیفایر چرخان می‌باشد.

وظایف:

- کنترل ولتاژ خروجی ژنراتور
- پایداری ولتاژ شبکه در برابر تغییرات بار
- مشارکت در کنترل توان راکتیو

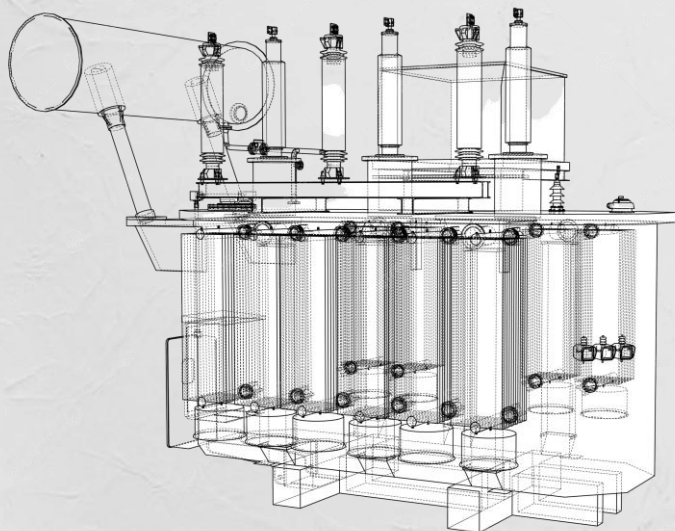


# ترانسفورماتور اصلی (Main Power Transformer)



ترانسفورماتور وظیفه دارد ولتاژ خروجی ژنراتور (11 تا 25 کیلوولت) را به سطح ولتاژ انتقال (230 تا 400 کیلوولت) افزایش دهد تا تلفات انتقال در خطوط کاهش یابد. این ترانسفورماتورها معمولاً دارای توان نامی بین 100 تا 500 مگاوات آمپر بوده و از نوع خنک‌شونده با روغن معدنی هستند که سیستم خنک‌کاری آن‌ها می‌تواند به صورت گردش طبیعی یا اجباری طراحی شود. هرگونه خرابی در این تجهیز منجر به از مدار خارج شدن کامل واحد می‌شود.

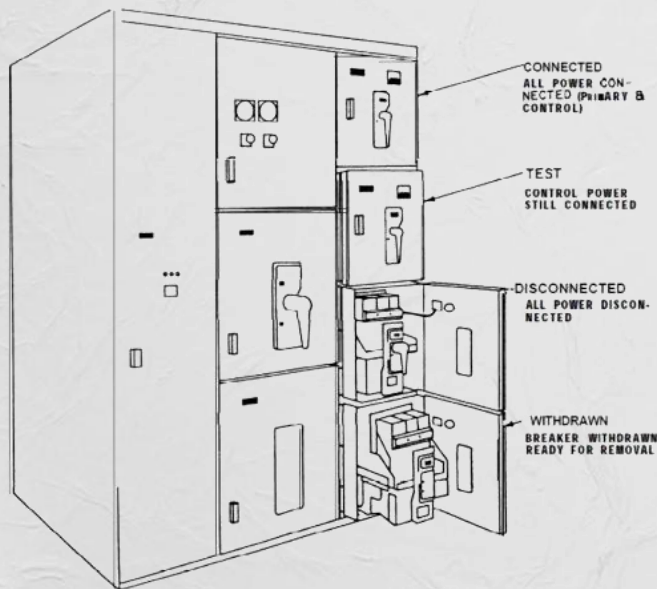
# ترانسفورماتورهای کمکی (Auxiliary Transformers)



ترانسفورماتورهای کمکی وظیفه تأمین توان الکتریکی موردنیاز تجهیزات جانبی نیروگاه مانند پمپ‌ها، فن‌ها، سیستم‌های کنترل و روشنایی را بر عهده دارند. این ترانسفورماتورها معمولاً برق را در دو سطح ولتاژ فشار متوسط (6.6 یا 11 کیلوولت) برای تجهیزات توان بالا و فشار ضعیف (400 ولت) برای مصارف عمومی و کنترلی داخل نیروگاه فراهم می‌کنند.

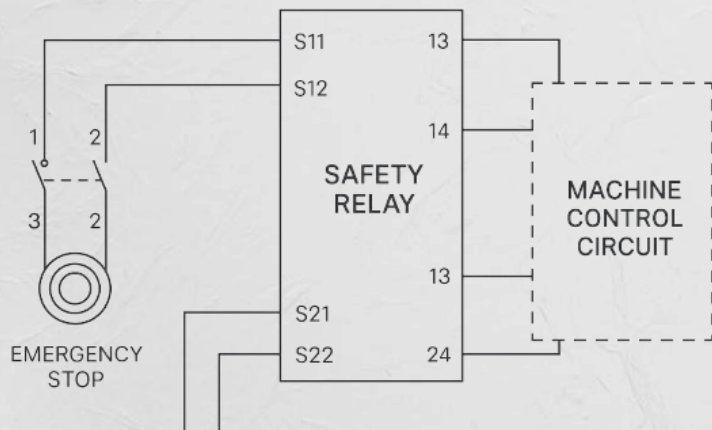


# تابلوهای برق و کلیدخانه‌ها (Switchgear and Panels)



تابلوهای برق و کلیدخانه‌ها وظیفه کنترل، توزیع و حفاظت از مدارها و مصرف‌کننده‌ها را بر عهده دارند و امکان جداسازی بخش معیوب از مدار را بدون خاموشی کامل نیروگاه فراهم می‌کنند. این تجهیزات شامل تابلو فشار قوی (HV Switchgear) برای ولتاژهای بالاتر از 33 کیلوولت، تابلو فشار متوسط (MV Switchgear) با محدوده 3.3 تا 33 کیلوولت و تابلو فشار ضعیف (LV Panels) تا 1 کیلوولت هستند که هر یک نقش مهمی در ایمنی و پایداری سیستم برق نیروگاه دارند.

# سیستم‌های حفاظتی (Protection Systems)

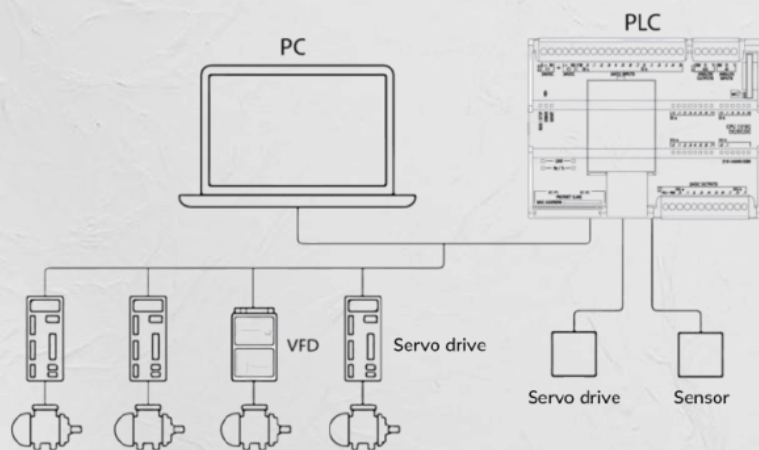


سیستم‌های حفاظت وظیفه دارند خطاهای الکتریکی و مکانیکی را به سرعت شناسایی و از گسترش آسیب به تجهیزات نیروگاه جلوگیری کنند. این سیستم‌ها شامل رله‌های حفاظتی مختلف مانند دیفرانسیل، اضافه‌جریان، اتصال زمین و حفاظت حرارتی موتورها هستند.

نیروگاه‌های مدرن از رله‌های عددی (Numerical Relays) استفاده می‌کنند که قابلیت ثبت وقایع، تحلیل خطا و ارتباط با سیستم کنترل مرکزی را دارند.



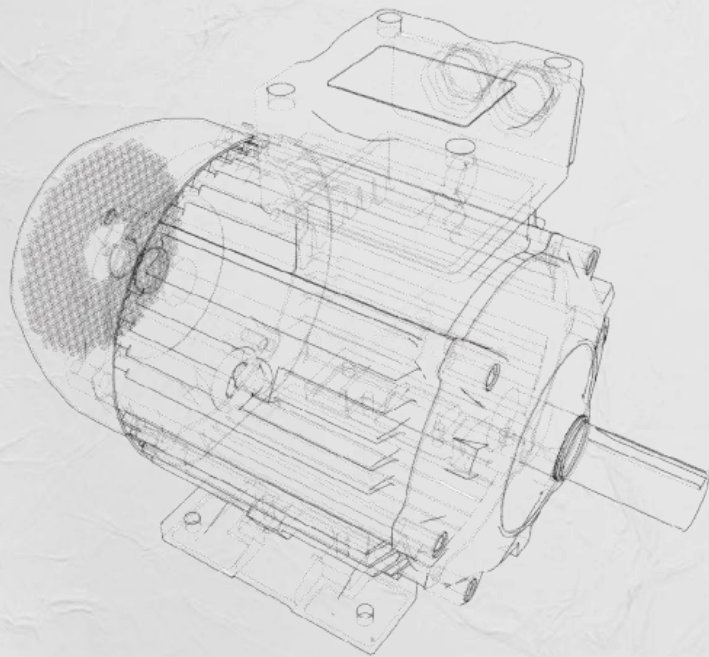
# سیستم کنترل و ابزار دقیق (Control and Instrumentation)



این سیستم به عنوان مغز هوشمند نیروگاه، وظیفه نظارت، کنترل و هماهنگی دقیق بین تمام تجهیزات اصلی از جمله بویلر، توربین و ژنراتور را بر عهده دارد.

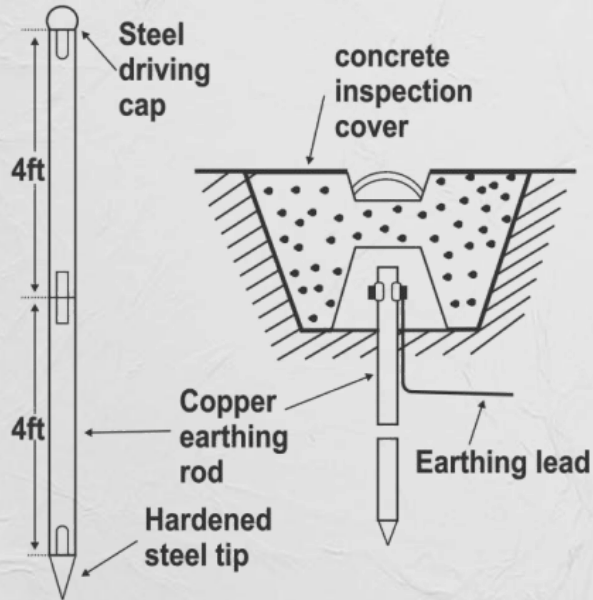
اجزای کلیدی آن شامل سیستم کنترل توزیع شده (DCS)، کنترلرهای PLC، حسگرهای فشار، دما و جریان، و سامانه‌های مانیتورینگ و هشداردهنده است. این سیستم‌ها باعث افزایش پایداری، ایمنی و راندمان نیروگاه می‌شوند.

# موتورها و درایورها (Electric Motors and Drives)



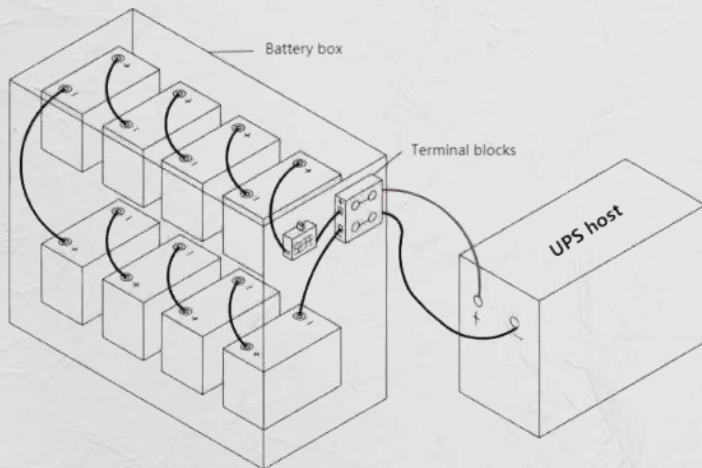
در یک نیروگاه بخار، صدها موتور الکتریکی برای راه اندازی پمپ‌ها، فن‌ها و سیستم‌های خنک‌کاری استفاده می‌شوند. این موتورها از نوع القایی سه فاز یا سنکرون با درایو سرعت متغیر (VFD) هستند و بسته به توان، با ولتاژ کاری بین 400 ولت تا 11 کیلوولت عمل می‌کنند. درایوهای الکترونیکی نیز امکان کنترل نرم و بهینه سرعت موتورها را فراهم می‌سازند.

## سیستم زمین (Earthing System)



سیستم زمین برای ایمنی افراد و حفاظت تجهیزات در برابر ولتاژهای خطا یا تخلیه الکتریکی طراحی شده است. این سیستم از چاه‌های زمین، هادی‌های مسی، نوارهای اتصال و باس‌بار زمین تشکیل می‌شود و شامل دو نوع زمین حفاظتی برای جلوگیری از برق‌گرفتگی و زمین عملکردی برای پایداری عملکرد تجهیزات کنترلی است.

# سیستم تغذیه اضطراری (Emergency Power Supply)

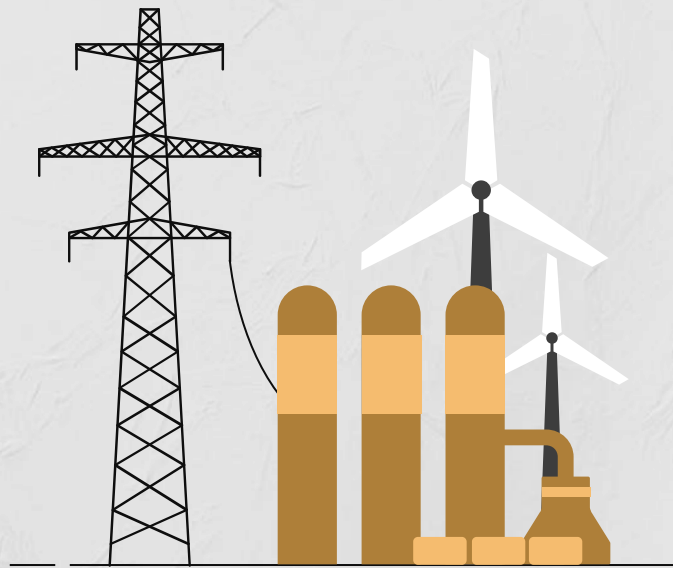


در زمان قطع برق اصلی، سیستم تغذیه اضطراری وظیفه دارد برق تجهیزات حیاتی نیروگاه مانند سیستم‌های کنترل، حفاظت و روشنایی اضطراری را تأمین کند تا از خاموشی کامل نیروگاه جلوگیری شود.

این سیستم متشکل از UPS برای سامانه‌های کنترلی و DCS، باتری‌های سرب‌اسیدی یا لیتیومی، و دیزل ژنراتورهای اضطراری است.

03

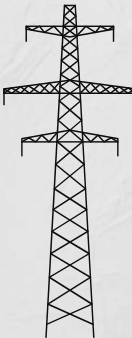
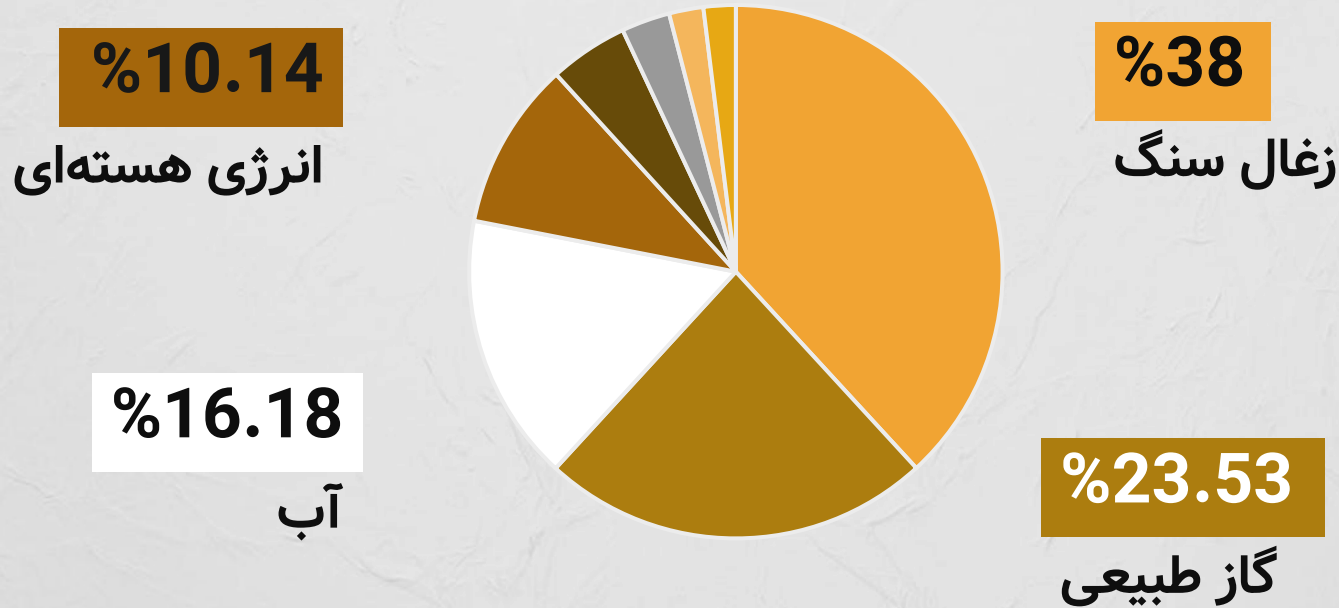
## راندمان و بازدهی



# عوامل مؤثر بر راندمان نیروگاه بخاری

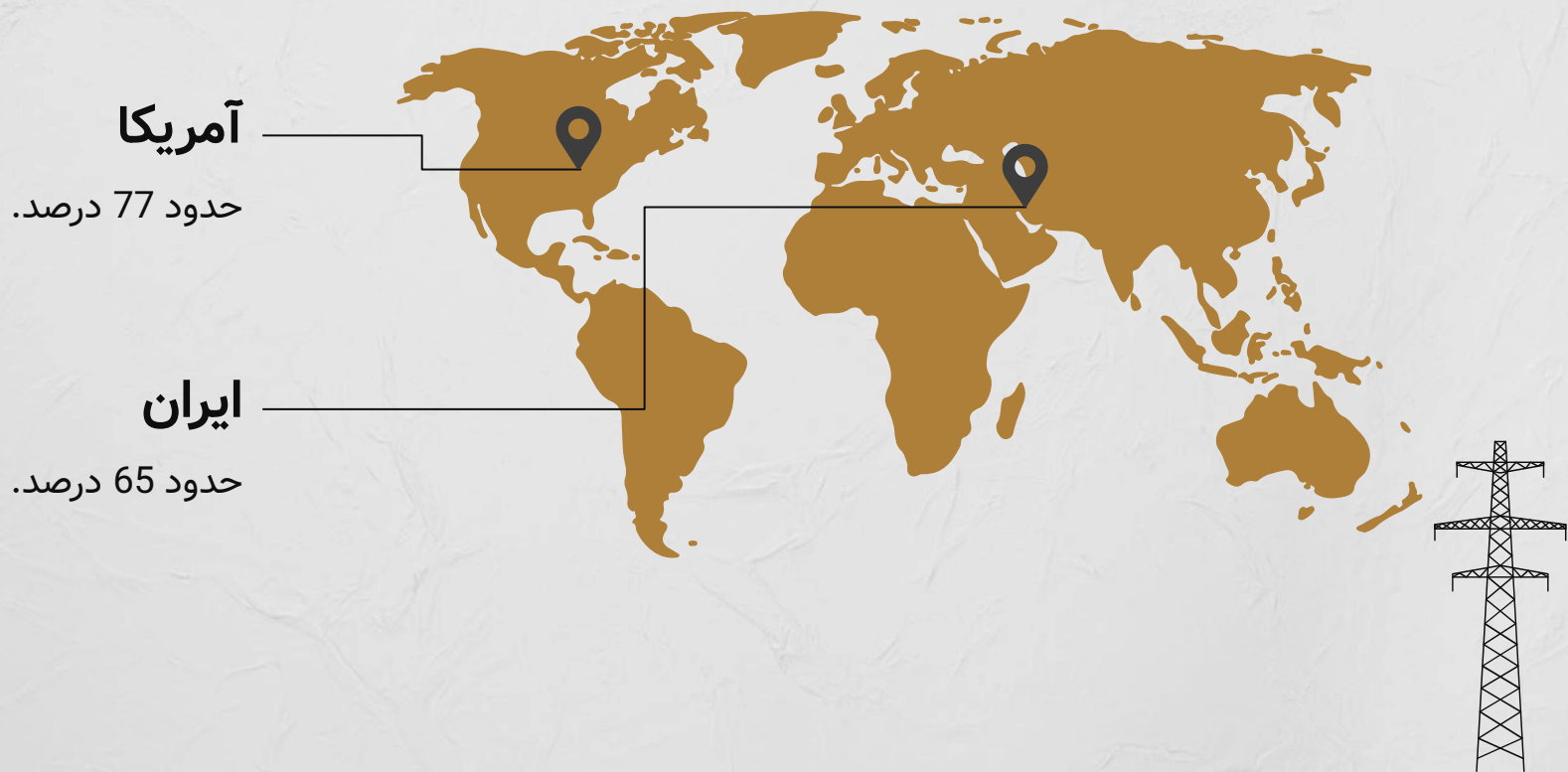
راندمان و عملکرد نیروگاه‌های بخاری به مجموعه‌ای از عوامل فنی، ترمودینامیکی و عملیاتی بستگی دارد که مستقیماً بر بازده حرارتی، توان خروجی، و میزان مصرف سوخت اثر می‌گذارند. کوچک‌ترین تغییر در دما، فشار، کیفیت سوخت، یا طراحی اجزای اصلی (نظیر بویلر، توربین و کندانسور) قادر است راندمان کلی نیروگاه را به میزان قابل توجهی افزایش یا کاهش دهد. افزون بر پارامترهای فنی، شرایط محیطی و روش بهره‌برداری نیز نقش مهمی دارند؛ برای مثال، دمای هوای محیط، کیفیت آب خنک‌کننده، و نحوه نگهداری تجهیزات می‌تواند بر کارکرد واقعی نیروگاه اثر بگذارد. از همین رو، تحلیل راندمان در نیروگاه بخاری صرفاً یک محاسبه ترمودینامیکی ساده نیست، بلکه ترکیبی از دانش مهندسی حرارت، مواد، مکانیک سیالات، و اقتصاد انرژی است.

# سهم تولید انرژی در جهان





# مقایسه سهم تولید نیروگاه بخار در ایران و آمریکا



# نیروگاه بخاری نکا

- نوع سوخت: گاز طبیعی / مازوت
- فشار بخار: حدود ۱۷۰ بار
- دمای بخار:  $540^{\circ}\text{C}$
- توان هر واحد: ۴۴۰ مگاوات
- راندمان کلی: حدود ۳۷ الی ۳۸ درصد

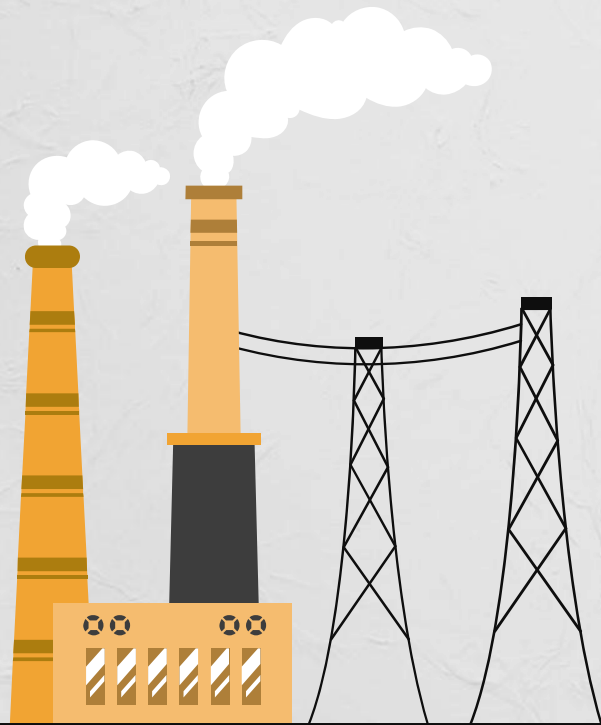


# آلودگی زیست محیطی نیروگاه‌های بخار

نیروگاه‌های بخار، از مهم‌ترین منابع آلودگی زیست محیطی به شمار می‌روند. احتراق سوخت موجب انتشار گسترده‌ی دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای می‌شود، به طوری که بیش از 40% از  $\text{CO}_2$  مرتبط با بخش انرژی به تولید برق اختصاص دارد. راندمان پایین این نیروگاه‌ها و تلفات زیاد در محفظه احتراق نیز به افزایش انتشار آلاینده‌ها دامن می‌زند.

علاوه بر این‌ها، نیروگاه‌های بخار مقادیر قابل‌توجهی اکسیدهای گوگرد و نیتروژن، ذرات معلق، فلزات سنگین و آلودگی حرارتی تولید می‌کنند که باعث تخریب محیط‌زیست، باران‌های اسیدی و آسیب به اکوسیستم‌های آبی می‌شود. پیامدهای انسانی این آلودگی‌ها شامل بیماری‌های تنفسی و قلبی، افزایش خطر سرطان، و نقش مؤثر در تغییرات اقلیمی و کاهش تنوع زیستی است.

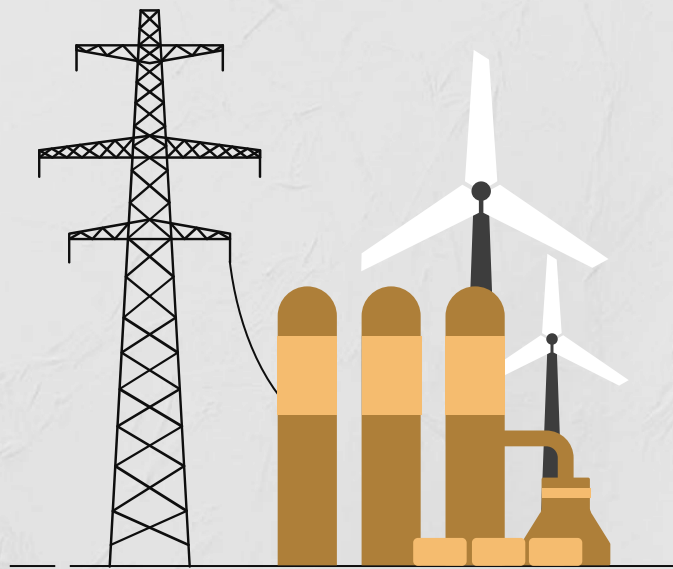
# آیا میدانید؟



راندمان نیروگاه‌های بخاری در حدود 40 درصد است و تقریباً 5 تا 10 درصد انرژی در اگزوز و در حدود 50 درصد نیز از طریق سیستم خنک‌کننده تلف می‌شود.

04

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

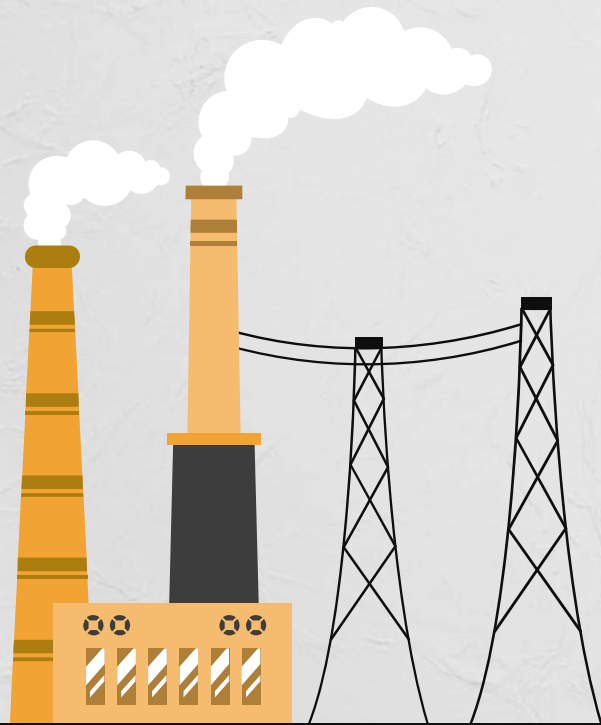


# نیروگاه سیکل ترکیبی

حرارت تلف شده از یک توربین گازی، به طور مؤثری سطح دمایی مناسبی را فراهم می‌کند که می‌تواند برای راه‌اندازی و حفظ یک فرآیند بخار با راندمان بالا مورد استفاده قرار گیرد. این ویژگی باعث می‌شود که انرژی حرارتی موجود به شکل بهینه در سیستم بازیابی و بهره‌برداری شود و بازده کل نیروگاه افزایش یابد. نیروگاه‌های سیکل ترکیبی نسبت به نیروگاه‌های بخار دارای ساختار ساده‌تر و هزینه‌های اولیه پایین‌تری هستند و علاوه بر این، زمان لازم برای ساخت و راه‌اندازی آن‌ها به مراتب کوتاه‌تر است. از لحاظ اقتصادی نیز، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری آن‌ها پایین است و نیاز به نیروی انسانی کمتری دارند، که در مجموع منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش صرفه‌جویی می‌شود.

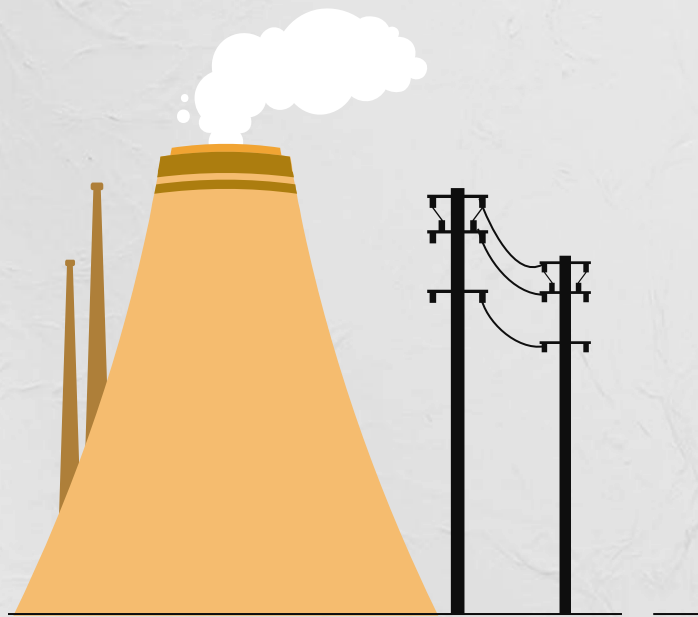


# آیا میدانید؟



راندمان خالص یک نیروگاه توربین گازی در حدود 38% و برای  
نیروگاه بخار در حدود 45% است در حالی که راندمان نیروگاه سیکل  
ترکیبی میتواند در حدود 60% باشد.

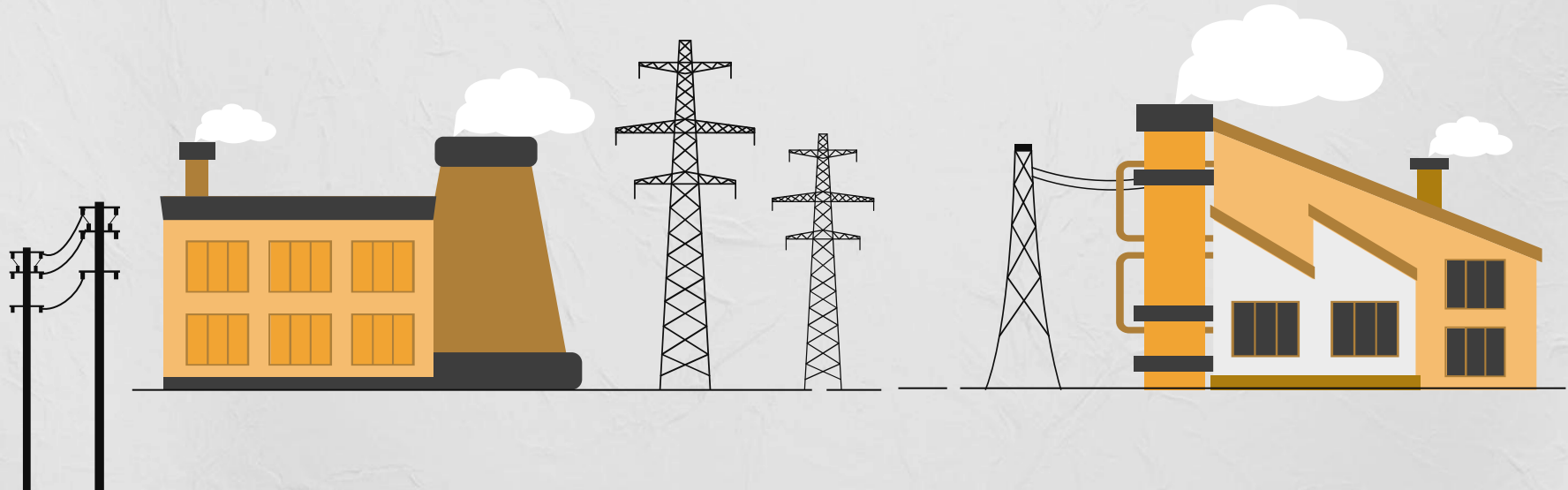




در این ارائه تلاش شد تا به طور خلاصه و روشن با عملکرد،  
تجهیزات و نحوه تولید انرژی در نیروگاه بخار آشنا شویم.  
امیدواریم این مطالب توانسته باشند درک بهتری از چگونگی  
کارکرد این نیروگاه و اهمیت آن در زندگی روزمره و صنعت  
برای شما فراهم کند و مورد توجه شما قرار گرفته باشد.

# مرجع اصلی

- آشنایی با اصول طراحی نیروگاه های حرارتی - انتشارات مهندسين مشاور مונكو ايران



# مراجع دیگر

- M. El-Wakil, Power Plant Technology, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 2002
- P. Kundur, Power System Stability and Control, New York: McGraw-Hill, 1994
- B. M. Weedy, B. J. Cory, N. Jenkins, J. B. Ekanayake, G. Strbac, Electric Power Systems, 5th ed., Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2012
- IEEE Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers, IEEE Power & Energy Society, 2015
- G. F. Franklin, J. D. Powell, and A. Emami-Naeini, Feedback Control of Dynamic Systems, 8th ed., Pearson, 2020
- H. Saadat, Power System Analysis, 4th ed., McGraw-Hill, 2022
- M. J. Heathcote, The J & P Transformer Book, 14th ed., Newnes, 2010
- Siemens Energy, Steam Power Plant Electrical Systems: Technical Manual, Siemens AG, Power Generation Division, 2019.

# سپاس از توجه شما

گردآورندگان:  
مبینا اسدیگی - سید سینا صالحی - نریمان ضیایی

